

Messtechnik 2 – Übersicht

Grundlagen ✓

Geometrische und mechanische Größen ✓

Optische Größen
Messen aus Bildern



Schwerpunktthema ✓

Temperatur ✓

Druck

Durchfluss, Viskosität, Dichte, Füllstand

Akustische Größen

Ionisierende Strahlung

Druck

[Pa = N/m²] 1 mbar = 10² Pa, 1 bar = 10⁵ Pa

Je nach den Gegebenheiten, bei *hohen Drücken*:

Druck ist Kraft pro Fläche $p = F / A$

oder, in der *Vakuum-Totaldruck-Messtechnik*:

Energetische Zusammenhänge im idealen Gas

$$\overline{E_{kin}} = \frac{3}{2} k_B T \quad pV = Nk_B T$$

k_B ... Boltzmann Konstante, N ... Teilchenanzahl, p ... *Druck*

und weitere Vakuum-Kenngrößen, z.B.

Mittlere freie Weglänge, Stoßhäufigkeit, Bedeckungszeit

Druckmessung $p=F/A$

p auf definierte A wirken lassen

Druckmessung \rightarrow *Kraftmessung*

meist Messung relativ zu Referenzdruck

- Atmosphäre
- Differenzdruckmessung
- Referenzdruck 0 \rightarrow Absolutdruck

Federelastische Geräte (1)

Mechanische Verfahren

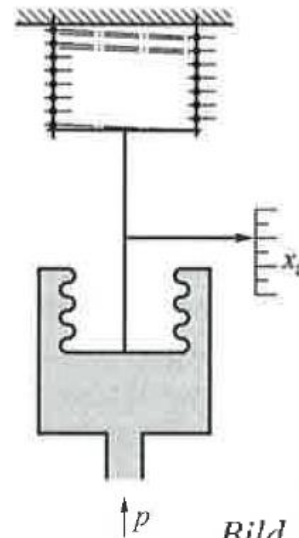
Druck \rightarrow Auslenkung von Feder, -balg,... \rightarrow Zeiger \rightarrow Skala
 \rightarrow Weg- oder Winkelmessung

große Stückzahlen, billig, robust, einfach

Weite Palette von Messbereichen (mbar ... kbar)

Bauarten:

- Kolbenmanometer
- Federbalgmanometer
- Kapselfedermanometer
- Plattenfedermanometer
- Federrohrmanometer



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.18 Das Prinzip eines Federbalgmanometers

Federelastische Geräte (2)

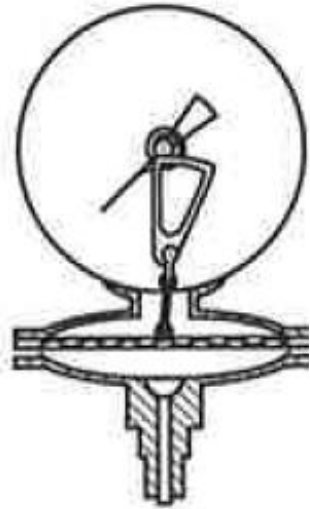


Bild 3.19 Plattenfedermanometer

[Hoffmann, TB der MT]

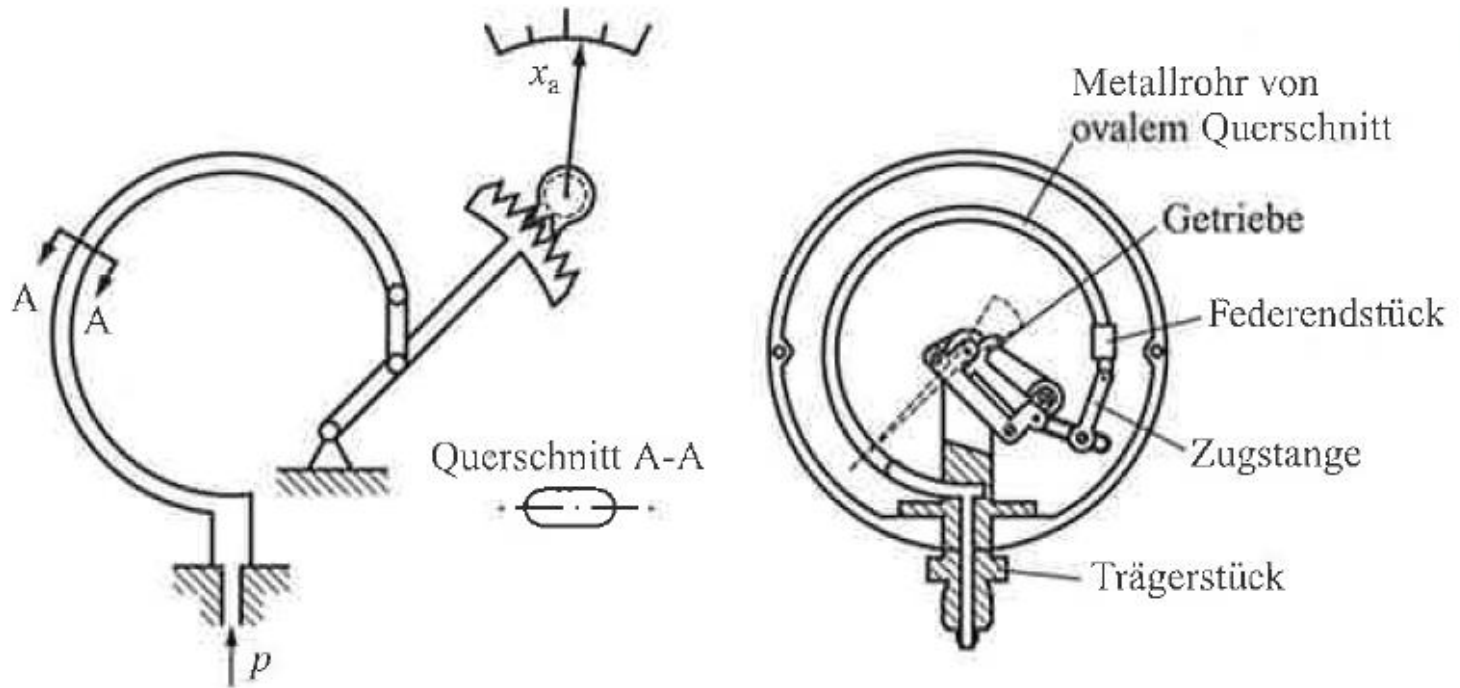


Bild 3.20 Das Prinzip und der Querschnitt durch ein Federrohrmanometer

Flüssigkeitsmanometer

Für kleine Drücke, Druckdifferenzen

- U-Rohrmanometer

$$p_1 - p_2 = \Delta p = g \Delta h \rho$$

- Ringrohrmanometer, auch „Ringwaage“

Drucksensoren (Druckmessumformer)

Früher: Kompensationsverfahren

Heute: präzise elektrische Auswertung von Ausschlagverfahren
(ähnlich genau, aber billiger)

- DMS, piezoresistiv
- Induktiv
- Kapazitiv
- Resonanzfrequenz
- Piezoelektrisch

Piezoresistive Druckmessung (1)

Druck \rightarrow Kraft \rightarrow Weg \rightarrow Dehnung

Hohe Drücke: DMS auf Verformungskörper aufbringen

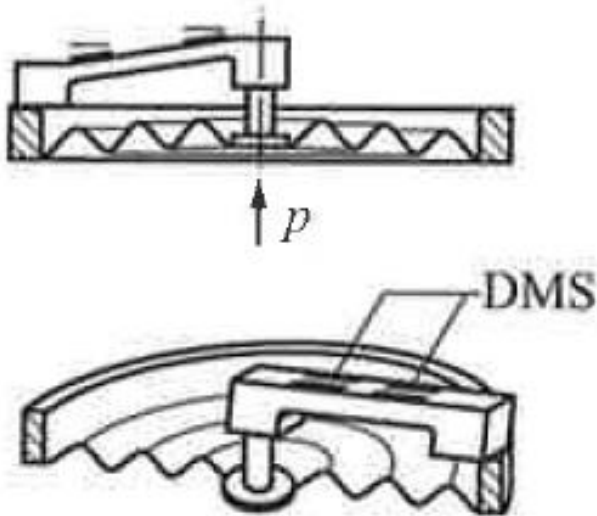


Bild 3.21 Messung der Membranverformung mit einem Biegebalkensensor

[Hoffmann, TB der MT]

Piezoresistive Druckmessung (2)

Druck \rightarrow Kraft \rightarrow Weg \rightarrow Dehnung

Geringe Drücke: Piezoresistive Membran

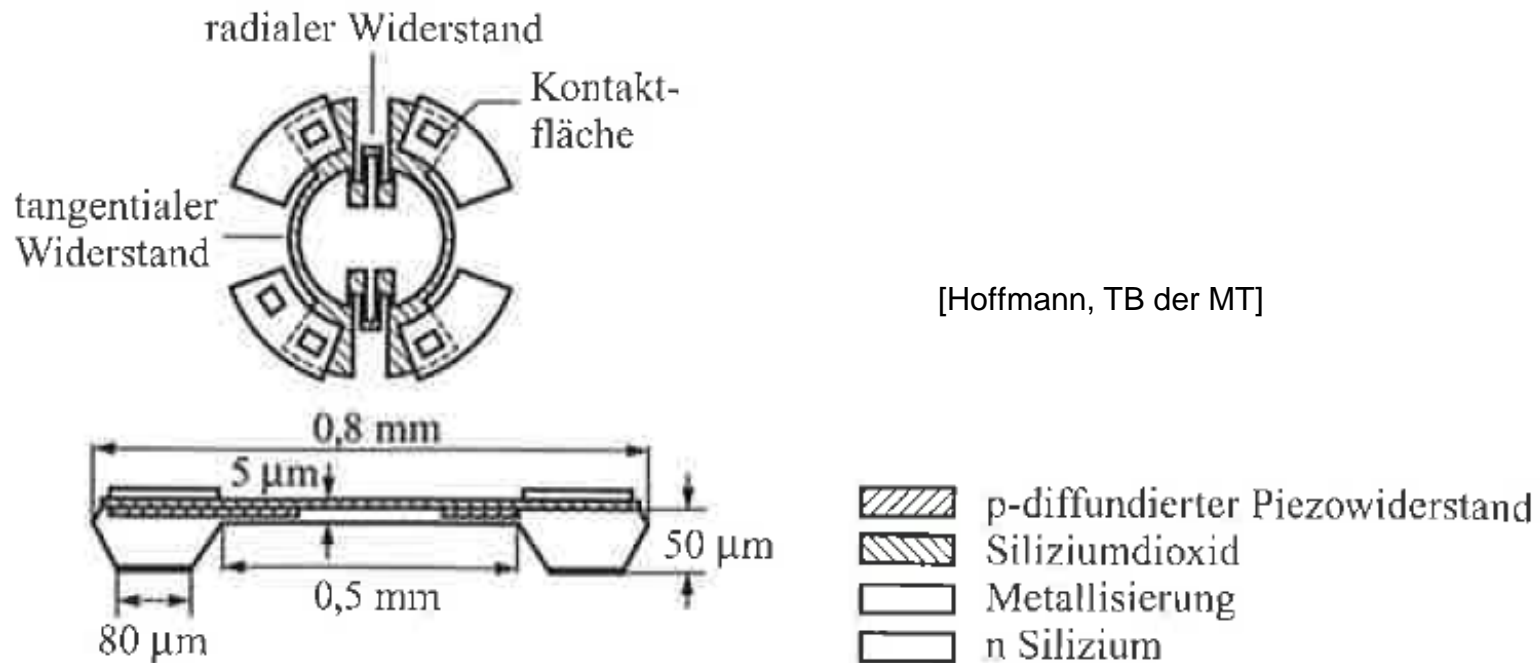
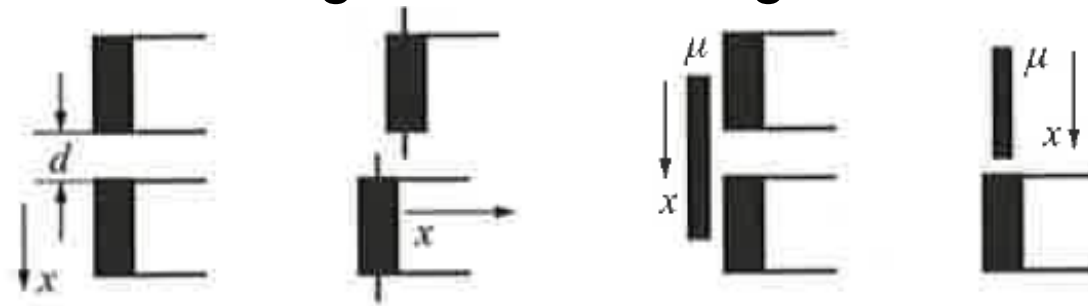


Bild 3.22 Piezoresistive Widerstandsbahnen in einer Siliziummembran

Induktive Druckmessung

Druck \rightarrow Kraft \rightarrow Weg \rightarrow L -Änderung



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.23 Eine Prinzipdarstellung zur Induktivitätsänderung

z.B.: Druckschwankungen: Tauchspulen-Mikrophon

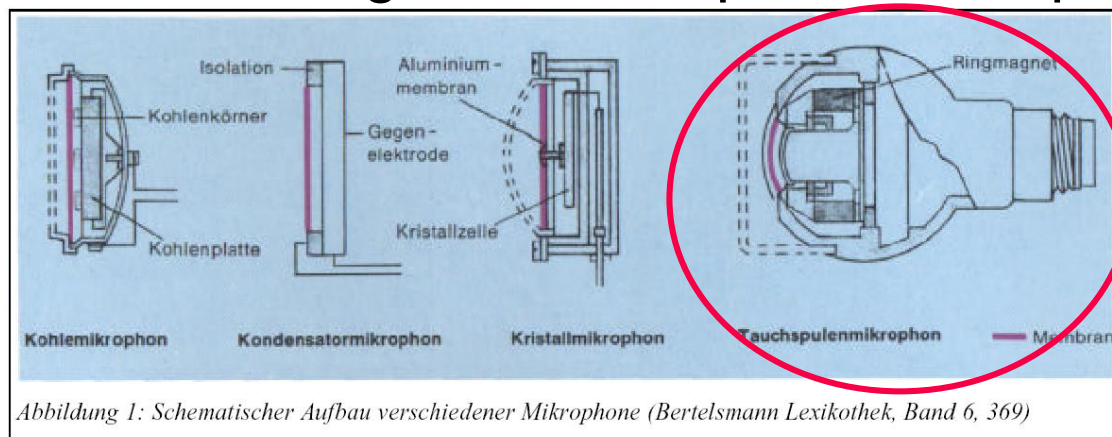
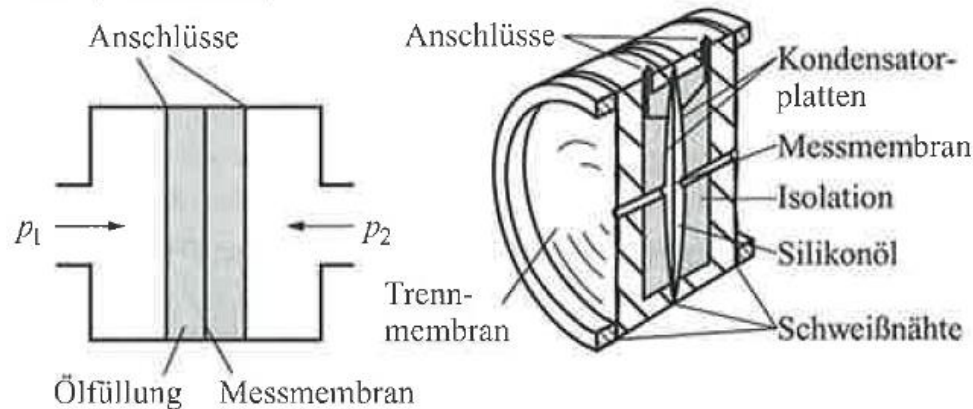


Abbildung 1: Schematischer Aufbau verschiedener Mikrophone (Bertelsmann Lexikothek, Band 6, 369)

Kapazitive Druckmessung

Druck \rightarrow Kraft \rightarrow Weg \rightarrow C-Änderung



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.25 Prinzip und Schnitt durch einen kapazitiven Druckaufnehmer

Beispiel Kondensator- / Elektretmikrophon

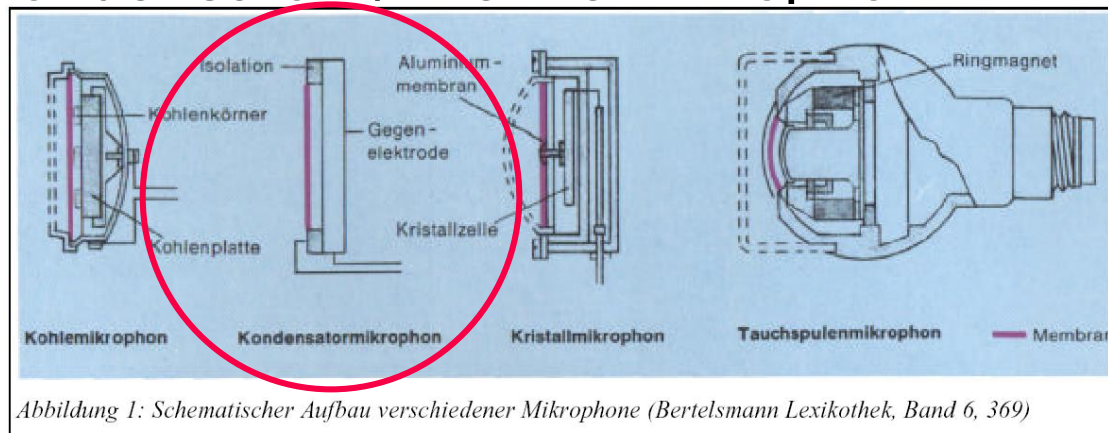


Abbildung 1: Schematischer Aufbau verschiedener Mikrophone (Bertelsmann Lexikothek, Band 6, 369)

Resonanzfrequenz

Druck \rightarrow Kraft \rightarrow Weg \rightarrow f -Änderung
 Schwingsaitenaufnehmer

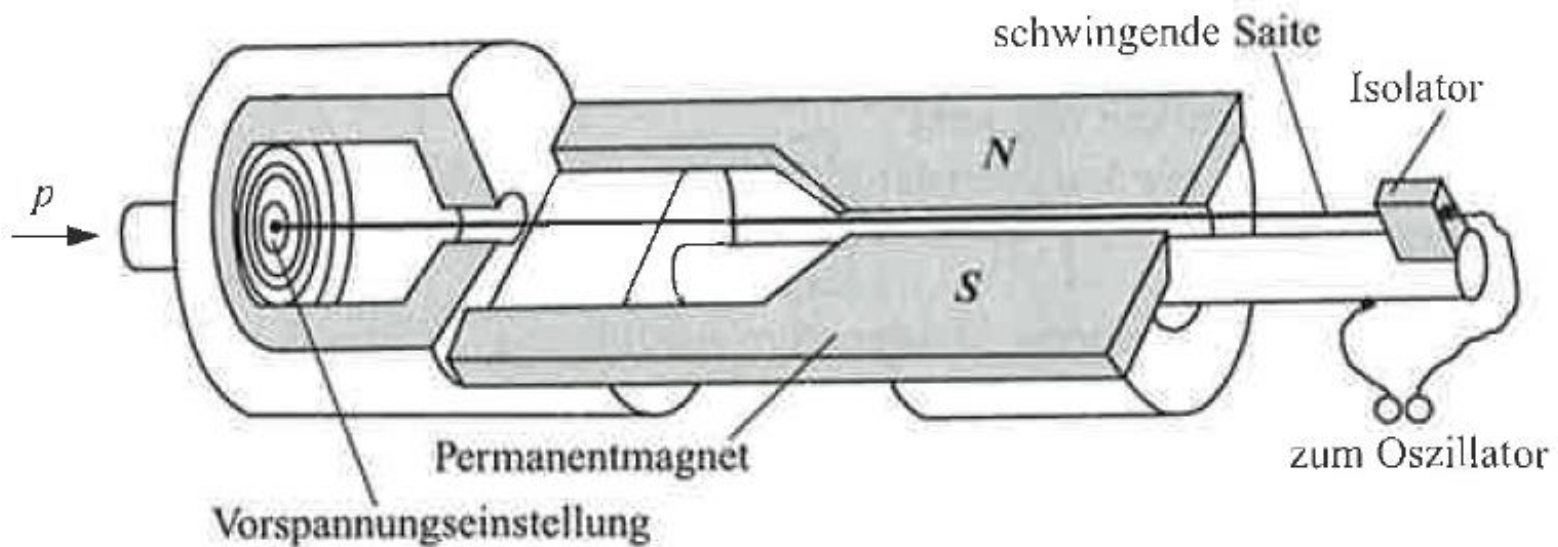


Bild 3.27 Schnittbild eines Druckaufnehmers nach dem Prinzip der Resonanzfrequenzmessung

[Hoffmann, TB der MT]

Piezoelektrische Druckmessung

Druck \rightarrow Kraft \rightarrow Weg \rightarrow ΔU

- ✓ *Rasch*
- ✓ *Einfach+robust*
- ✓ *Nahezu weglose Kraftmessung*
- ✓ *Klein*
- ✓ *Gut geeignet für hohe Drücke*
- ✓ *Linear*

Gefahr von Ladungsträgerausgleich \rightarrow Hervorragend geeignet für dynamischen Einsatz – Druckschwankungen

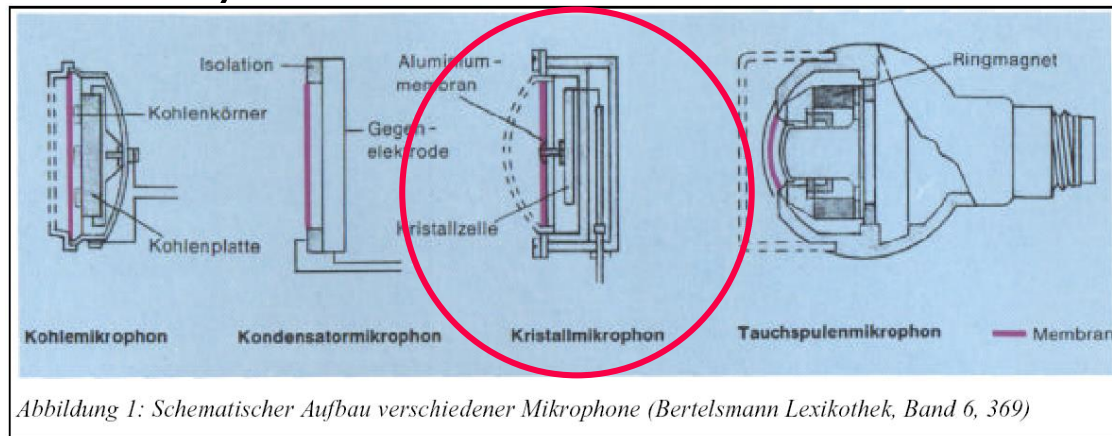


Abbildung 1: Schematischer Aufbau verschiedener Mikrophone (Bertelsmann Lexikothek, Band 6, 369)

Kleine Drücke: Vakuum-Totaldruck-Messung

[Tränkler, Obermeier. Sensortechnik, Springer 1998, Kap. 16.]

Vakuum-Kenngrößen:

- L mittlere freie Weglänge
- n Teilchenanzahldichte (Teilchen / Volumseinheit) $pV = Nk_B T \rightarrow p = nk_B T$
- z Stoßhäufigkeit
- τ Bedeckungszeit einer Fläche mit einer einlagigen Teilchenschicht

Grob-, Fein-, Hoch-, Ultrahochvakuum

Industriell genutzt: $10^3 - 10^{-14}$ mbar

Vakuum-Kenngrößen

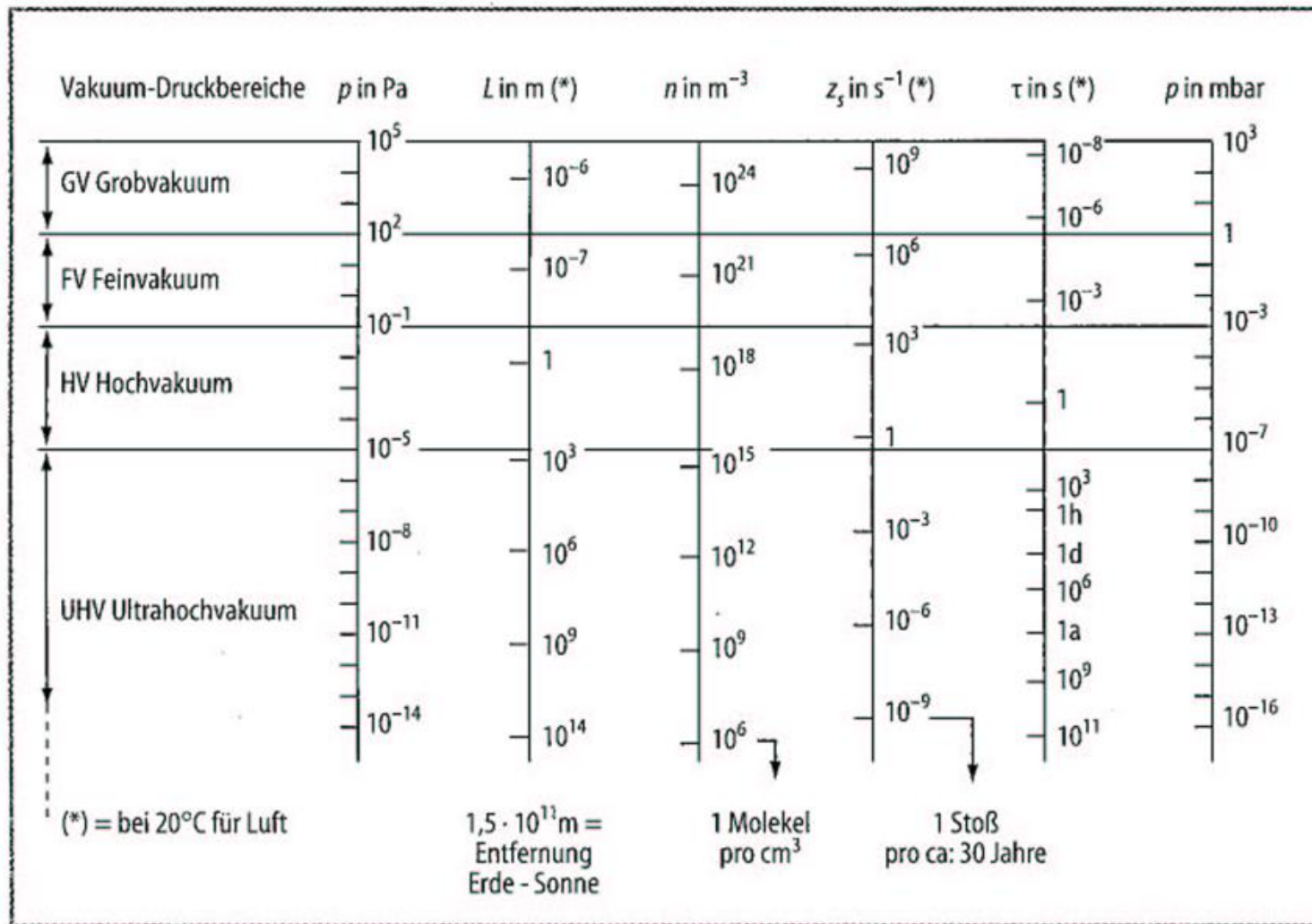


Abb. 16-1 Vakuum-Kenngrößen

[Tränkler, Obermeier. Sensortechnik]

Messbereiche / Bauarten

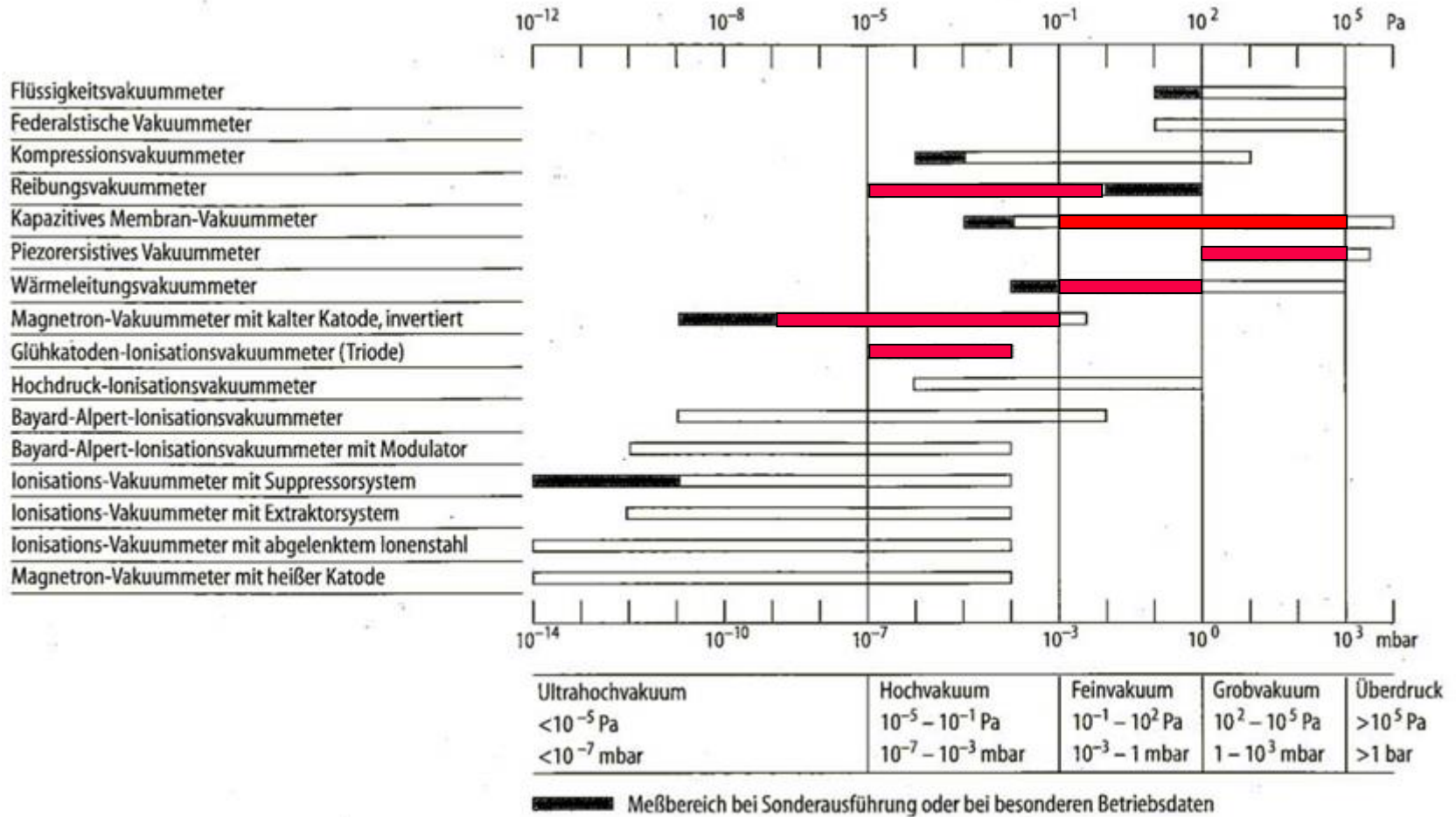


Abbildung 16-2 Messbereiche gebräuchlicher Vakuummeter

[Tränkle, Obermeier. Sensortechnik]

Bauarten

Mechanisch (messen Kraft)

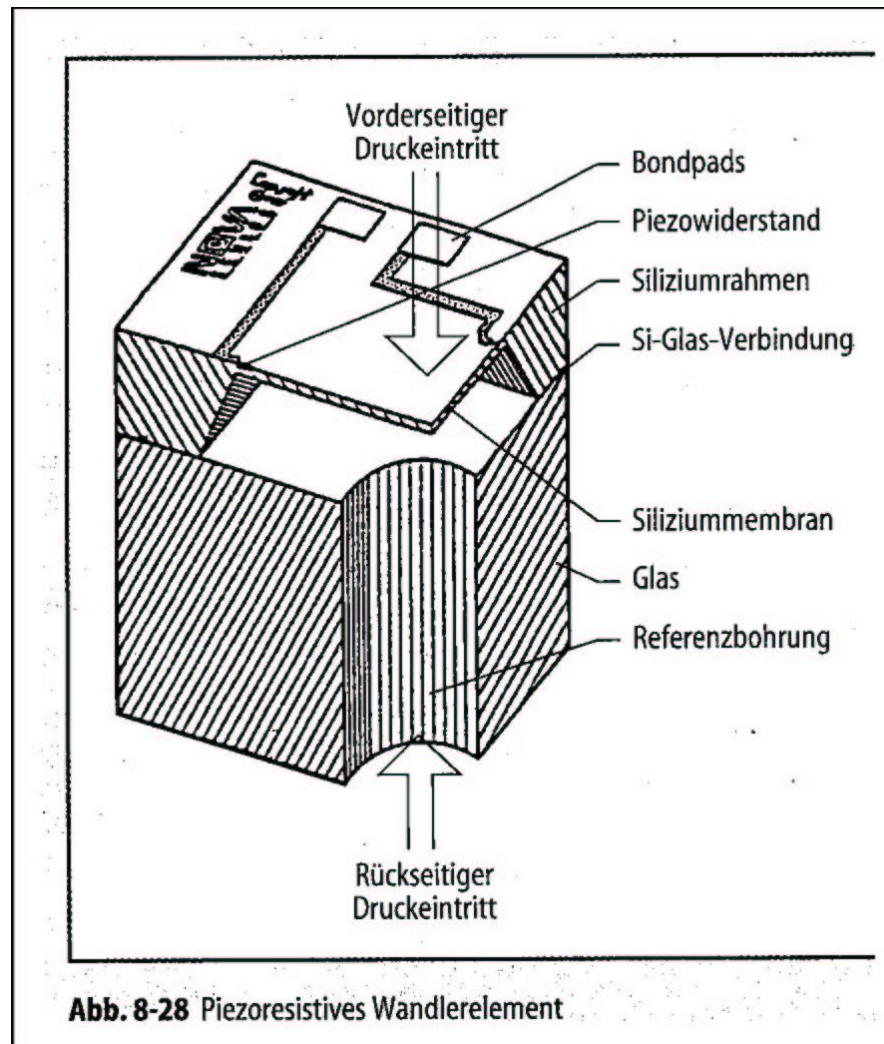
- Piezoresistiv
- Kapazitiv

Wärmeleitungs-Vakuummeter

Ionisations-Vakuummeter

Gasreibung-Vakuummeter

Piezoresistiv (1)



[Tränkler, Obermeier. Sensortechnik]

Piezoresistiv(2)

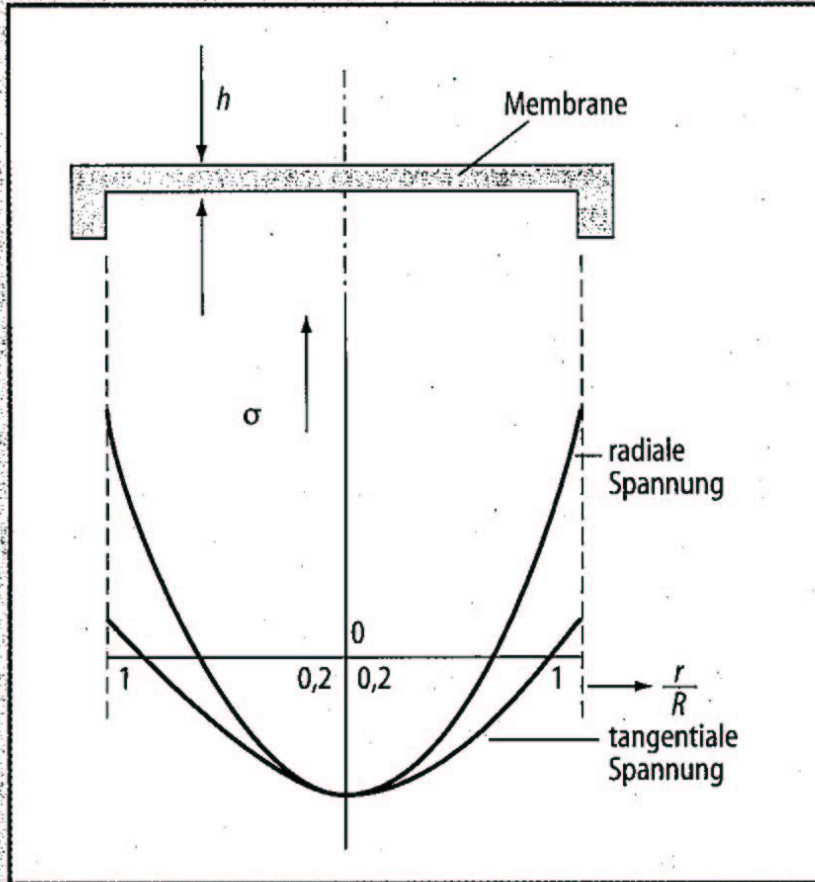


Abb. 8-29 Mechanische Spannungen einer druckbeaufschlagten Kreismembran

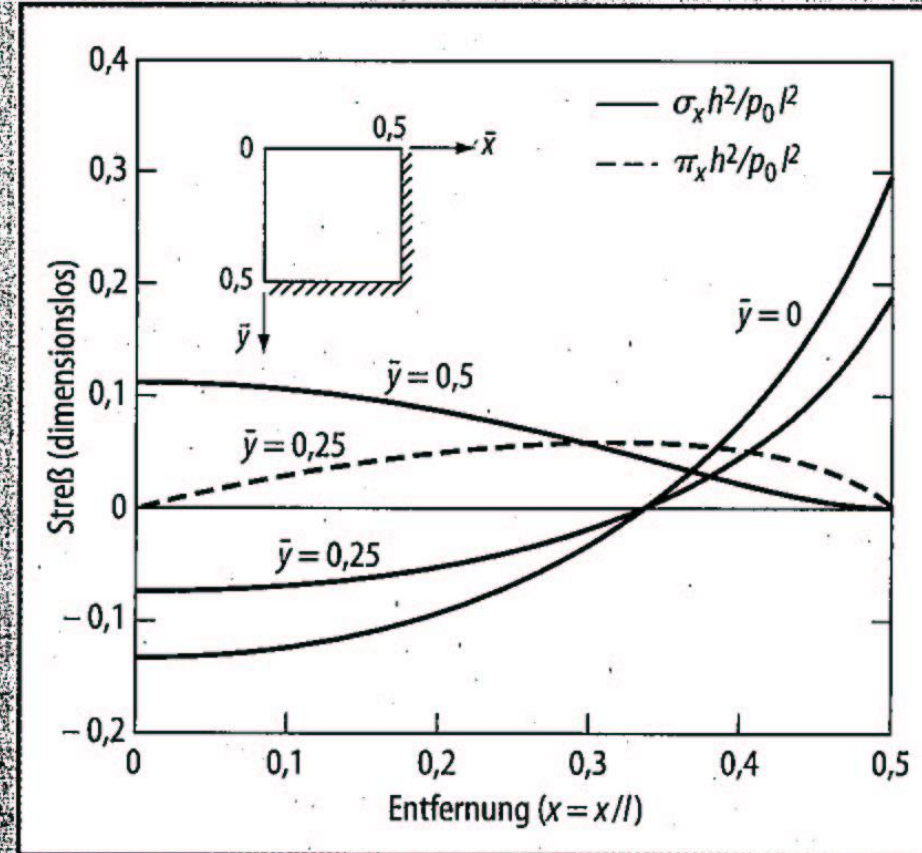


Abb. 8-30 Mechanische Spannungen einer quadratischen Membran [8-29]

[Tränkle, Obermeier. Sensorteknik]

Piezoresistiv(3)

- Kreismembran
 - Longitudinal-Transversal Anordnung
 - (100)-Fläche
 - Druckbereich: 100 kPa – 100 MPa
 - Isotrope Ätzung
 - Linearitätsfehler/ Meßspanne: mittel
 - Hoher Überlastfaktor
- Kreismembran
 - Longitudinal Anordnung
 - (111)-Fläche
 - Druckbereich: 100 kPa – 1 MPa
 - Isotrope Ätzung
 - Linearitätsfehler/ Meßspanne: groß
 - Hoher Überlastfaktor
- Kreisringmembran
 - Longitudinal Anordnung
 - (111)-Fläche
 - Druckbereich: 1 kPa – 10 kPa
 - Isotrope Ätzung
 - Linearitätsfehler/ Meßspanne: klein
 - Hoher Überlastfaktor

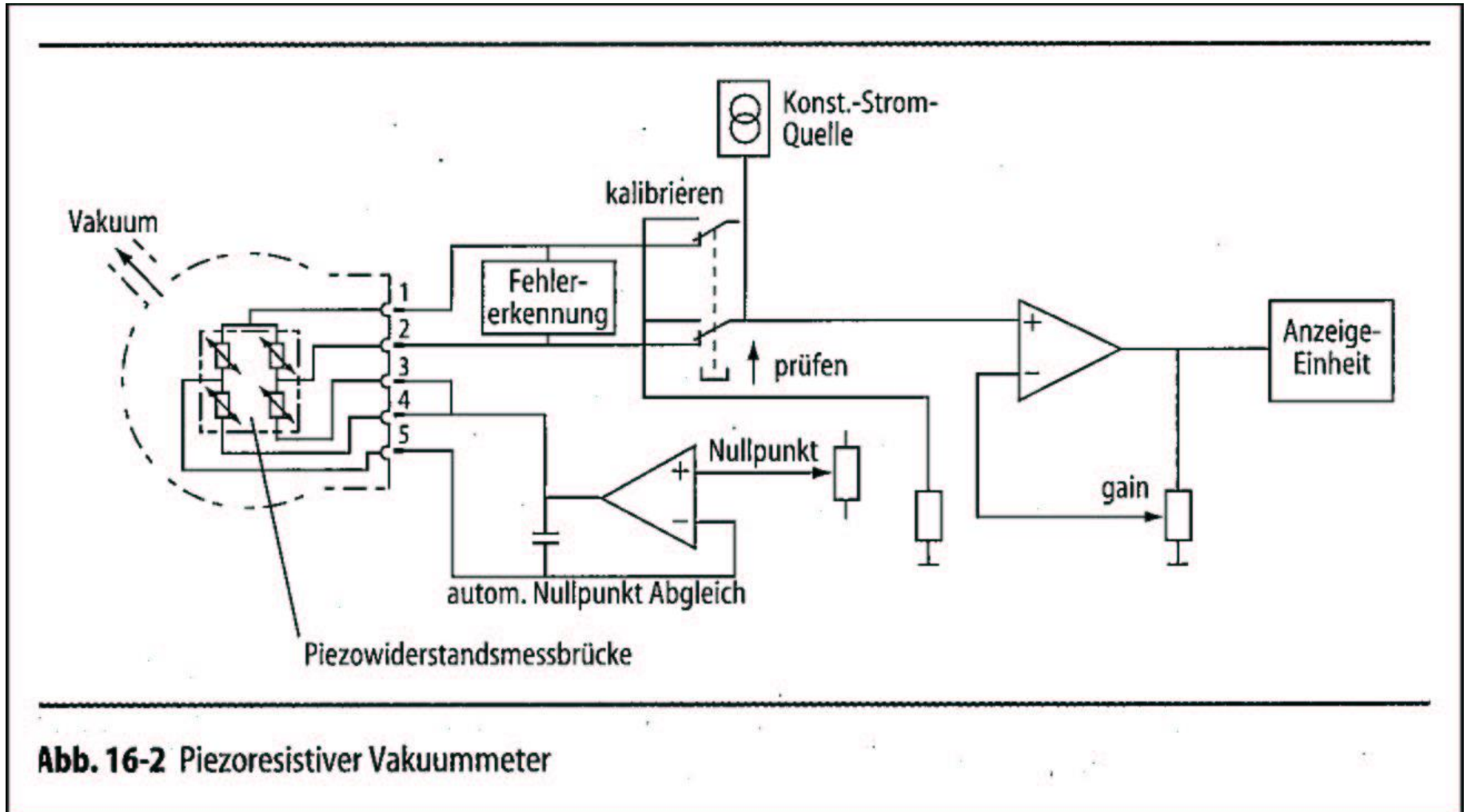
Abb. 8-33 Grundlegende Designvarianten von isotrop geätzten Kreismembranen

- Quadratische Membran
 - Longitudinal-Transversal Anordnung
 - (100)-Fläche
 - Druckbereich: 100 kPa – 100 MPa
 - Anisotrope Ätzung
 - Linearitätsfehler/ Meßspanne: klein
 - Überlastfaktor: mittel
- Rechteckige Membran
 - Longitudinal-Transversal Anordnung
 - (100)-Fläche
 - Druckbereich: 100 kPa – 1 MPa
 - Anisotrope Ätzung
 - Linearitätsfehler/ Meßspanne: groß
 - Überlastfaktor: mittel
- Quadratische Membran
 - X-Ducer Anordnung
 - (100)-Fläche
 - Druckbereich: 100 kPa – 1 MPa
 - Anisotrope Ätzung
 - Linearitätsfehler/ Meßspanne: klein
 - Überlastfaktor: mittel
 - Nullpunktspannung: groß

Abb. 8-34 Grundlegende Designvarianten von anisotrop geätzten Rechteckmembranen

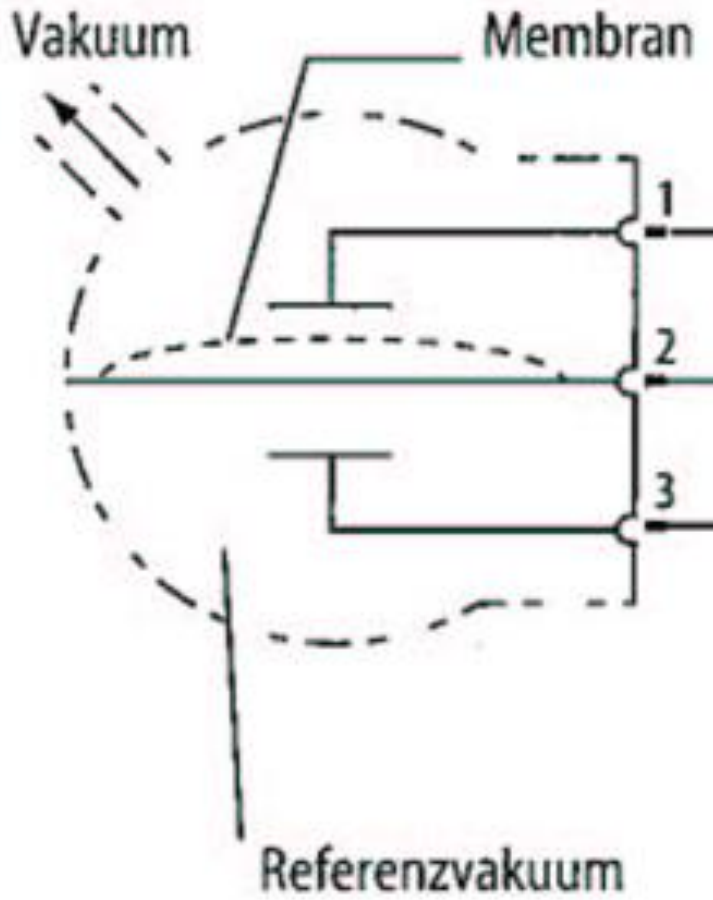
[Tränkler, Obermeier. Sensortechnik]

Piezoresistiv(4)



[Tränkler, Obermeier. Sensortechnik]

Kapazitiv



[Tränkler, Obermeier. Sensortechnik]

Wärmeleitungs-Vakuummeter

Indirekte Druckmessung

Wärmeleitung von Gasen $Q_{gas} = f(\dots, p, \dots)$

Heizdraht, zugeführte Leistung Q_{el}

Hohe Drücke: Wärmeleitung ist unabhängig vom Druck

Arbeitsbereich: $Q_{gas} = f(p, \dots)$

Sehr niedere Drücke: Ableitung über Halterung und Wärmestrahlung

Ionisation (1)

Indirekte Druckmessung

Messung einer der Teilchenanzahldichte n proportionalen Größe

Gas wird ionisiert

Ionenstrom = $f(\dots, p, \dots)$

Penning- (Kaltkathoden-) Vakuummeter

- Gasentladung (Hochspannung, kV)
- $10^{-3} - 10^{-11}$ mbar

Glühkathoden-Ionisations-Vakuummeter

- Hochgenau, breiter Einsatz

Ionisation (2) – Kaltkathoden-/Penning-Vakuummeter

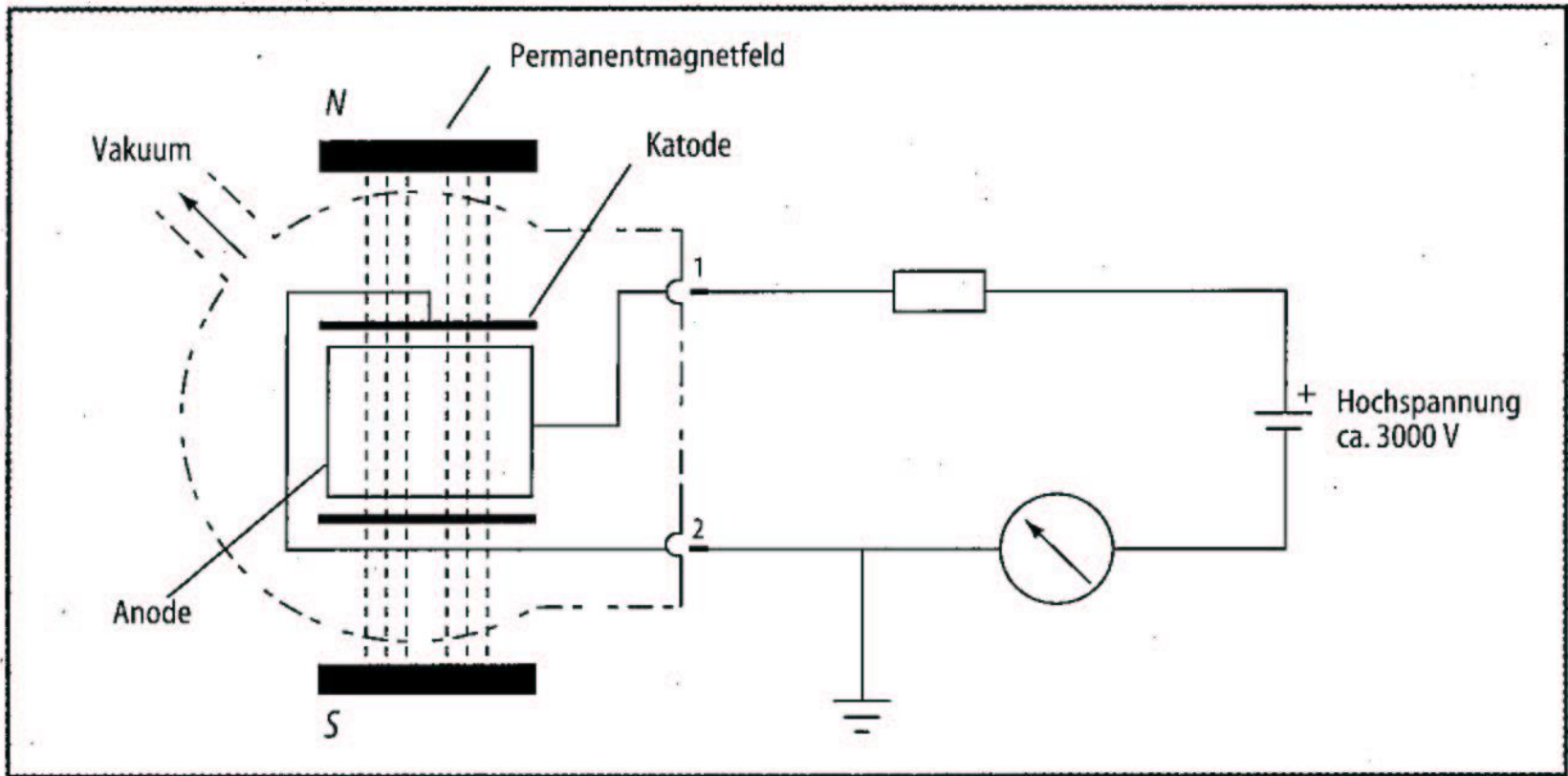


Abb. 16-6 Kaltkathoden-Ionisations-Vakuummeter

[Tränkler, Obermeier. Sensortechnik]

Ionisation (2) – Glühkathoden-Vakuummeter

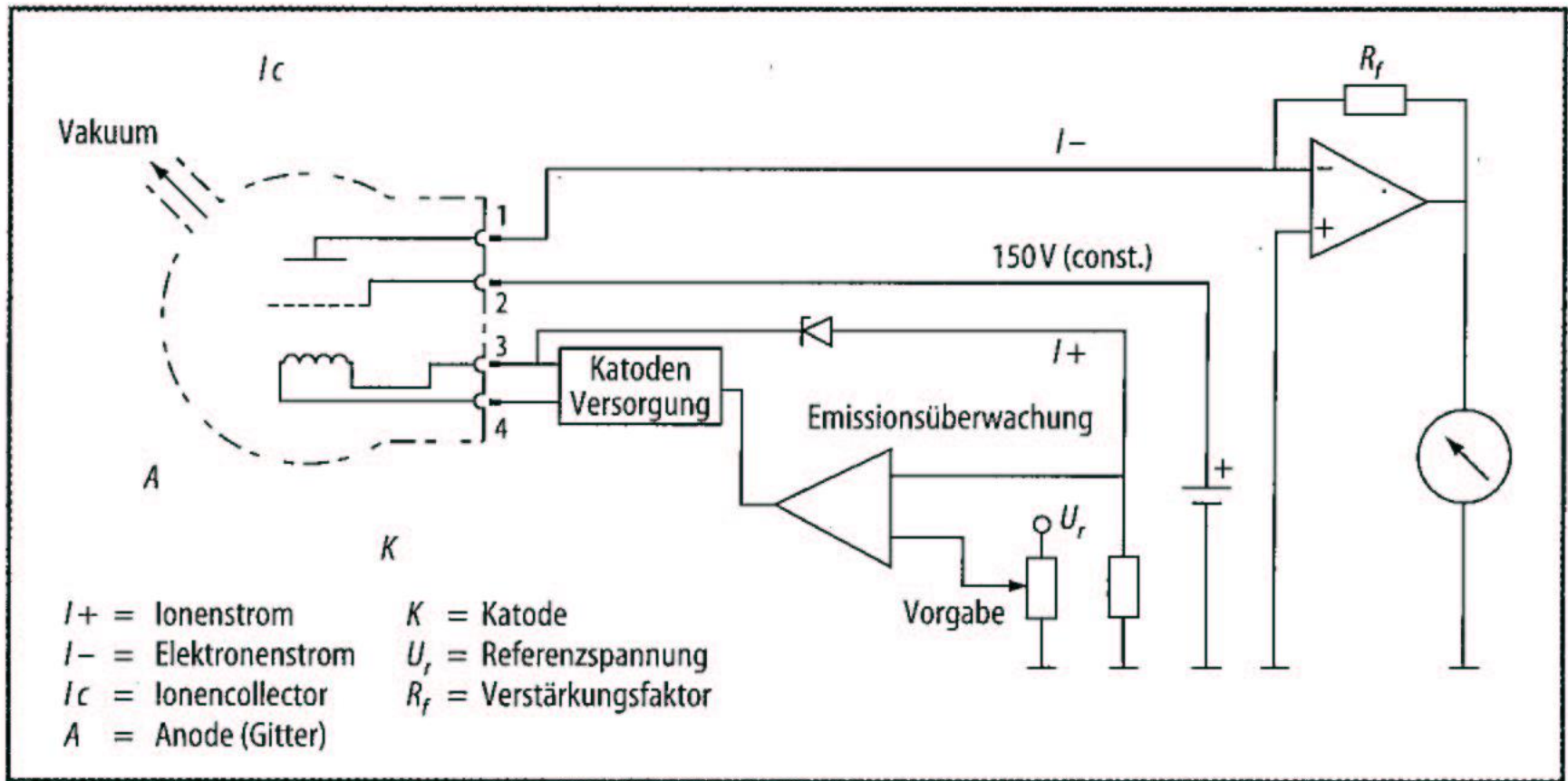


Abb. 16-7 Glühkathoden-Ionisations-Vakuummeter

[Tränkler, Obermeier. Sensortechnik]

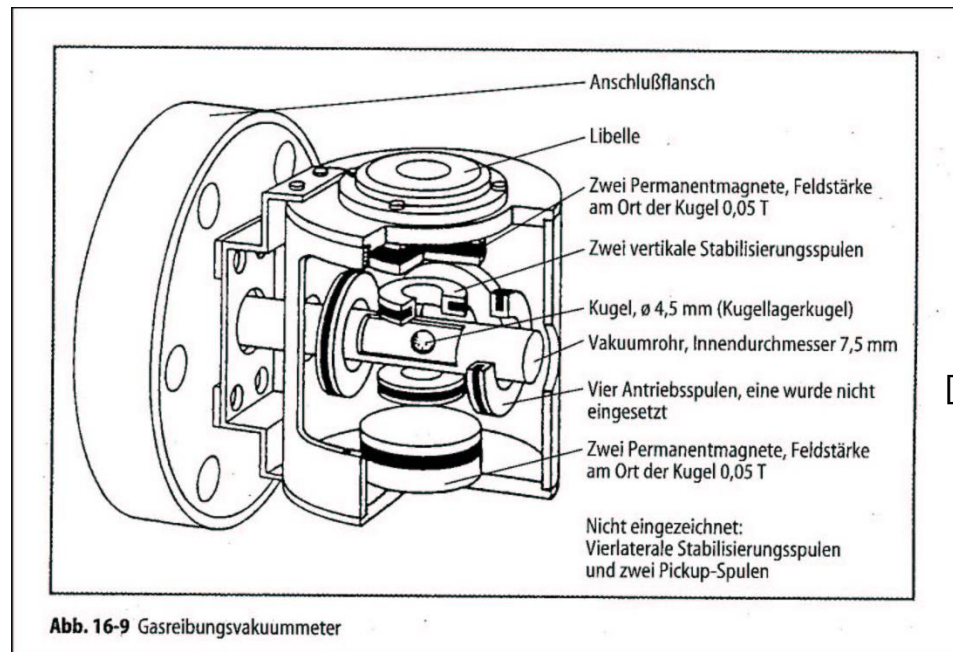
Gasreibungs-Vakuummeter

Bei niedrigen Drücken:

- Gasreibung = $f(\dots, p, \dots)$
- $10^{-2} - 10^{-7}$ mbar

Stahlkugel schwebt + rotiert (Magnete)

Abbremsung durch Gasreibung $\propto p$



[Tränkler, Obermeier. Sensortechnik]

Messbereiche / Bauarten

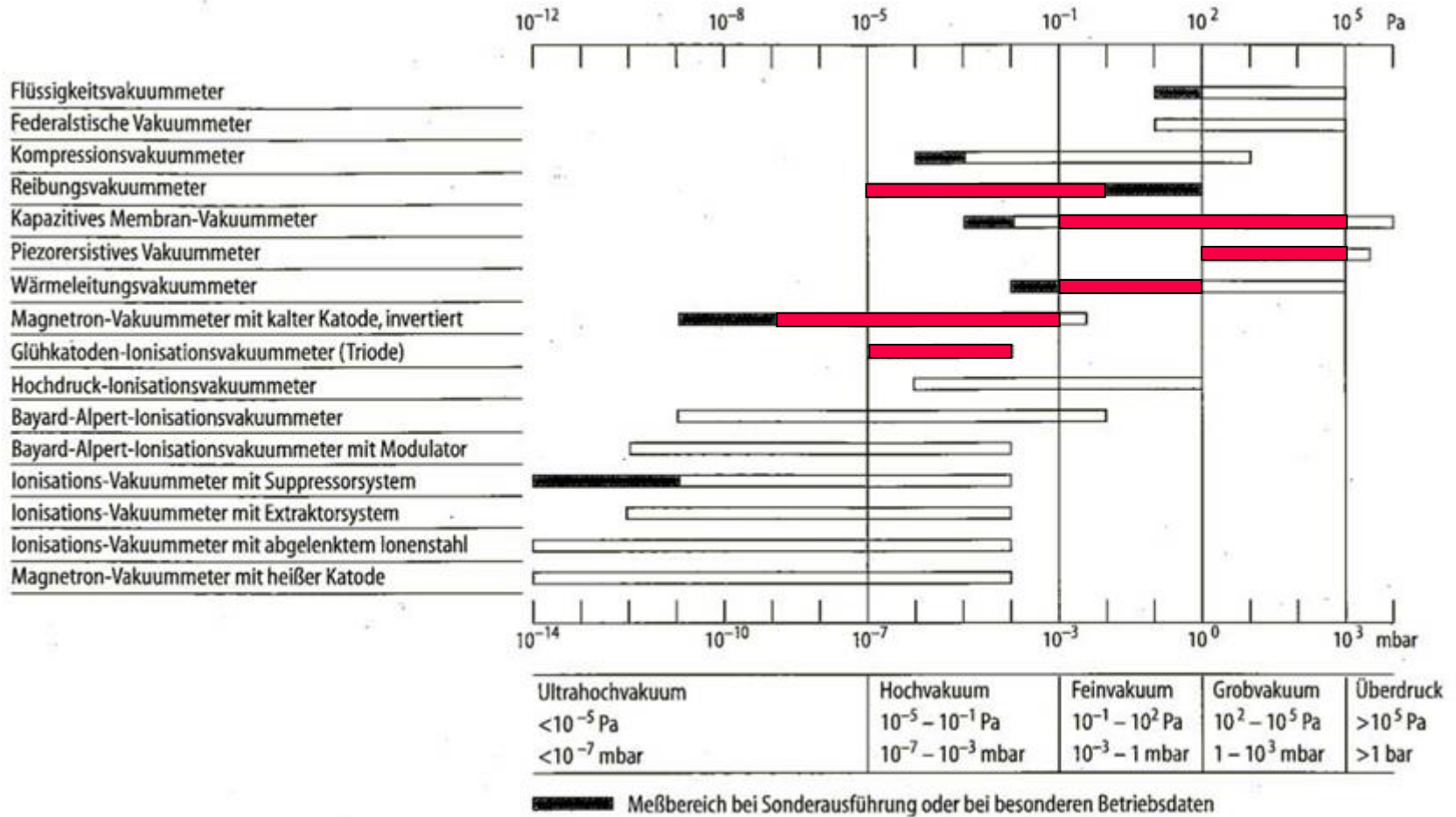


Abbildung 16-2 Messbereiche gebräuchlicher Vakuummeter

[Tränkle, Obermeier. Sensortechnik]